

水库地区路基断面设计与防渗设计

何良德, 宗 泽

(河海大学交通学院 南京市 210098)

摘 要: 设计水库路基时,应根据水库的运行特点,考虑库水浸泡、渗透、水位升降、波浪侵袭、水流冲刷、库岸坍塌、水库淤积和地下水壅升引起的湿陷等影响。通过工程实例,分析了造成库区路基病害的原因,从填土造地、渗透稳定、滑坡治理、塌岸防护等综合治理和综合利用的原则出发,探讨了库区新建路基和改造路基的形式及构造,研究了路基本体和地基的渗流计算分析与控制方法,详细阐述了各种路基断面形式、防渗设施布置形式以及路基填料等在不同水位差条件下的适用性和有效性。

关键词: 库区路基; 断面形式; 渗透变形; 填料选择; 路基防护

水库路基是指沿水库边岸修筑的路基,以及跨越水库支流修筑受库水浸泡的路基^[1]。水库路基常见的病害有边坡滑塌、渗透管涌、路基沉降等类型。

湘黔线复线工程K100+600~K106+250段,左侧路堤傍临溪口水库,1995年开通当月,由于水库水位下降10 m,致使多处发生大型滑坡,路肩下沉达3.0 m,水平位移达2.0 m。右侧濒临大塘港水库的路堤K42~K48段,2003年干旱少雨,水库水位在两个月内迅速下降约3.85 m,路基出现滑塌^[2],在临库侧2/3断面处下沉3 m左右,大塘港水库底长约80 m、宽约50 m范围的淤泥上升20~30 cm。

外福线K145~K172段铁路依山傍水,沿线村民在洪水季节为保家园护田地时堵塞涵管,路堤成为“防洪堤坝”,两侧水位差达4~8 m,造成路堤渗水、路肩塌陷、边坡溜坍、溃堤等病害^[3]。又如皖赣线K85+900~K86+650段铁路河漫滩路堤,1987年7月一场洪水,使路堤背水侧坡脚地带大量涌水涌砂,涌砂堆盖住了已经抽穗的稻子,此后每年路堤下沉日趋严重,危及铁路行车安全^[4]。

由于宝鸡峡渠首工程加高22.6 m,使陇海铁路K1256+862~K1265+130区段路堤被淹深达5~19 m。由于受库水淹没浸泡、水位升降、泄洪冲刷、渗透管涌等作用,造成(黄土填筑)路堤沉降、边坡滑塌、路堤整体失稳等病害^[5]。外福线位于水口库区的滨江路基,由于没有考虑水流冲刷,造成防护设施变

形与破坏,影响和威胁行车安全^[6]。

三峡库区公路工程 and 铁路工程建设前期工作专门对库岸坍塌及其防护措施进行了研究^[7,8],逐段确定坍塌线和坍塌范围,对于水库坍塌严重、工程处理困难并可能留有隐患的地段采用了隧道绕避,其他坍塌地段采用了常规工程处理措施。

水库库区公路路线设计,应进行工程地质调查,并进行坍塌研究。在坍塌线以外选线,由于坍塌线系预测值,具体定线时尚应留有余地。设计水库路基时,应根据水库的特点,考虑库水浸泡、渗透、水位升降、波浪侵袭、水流冲刷、库岸坍塌、水库淤积和地下水壅升引起的湿陷等影响,合理确定路基断面形式,做好防参与排渗设计,采取相应的防护、加固措施^[1]。

1 水库路基断面设计

1.1 水库路基设计顶高程

路基边缘顶高程应按设计洪水位加堤顶超高确定。超高包括波浪侵袭高度(爬高)、风壅水高和安全加高。《公路路基设计规范》(JTG D30-2004)^[1]规定,设计洪水位的重现期应根据公路等级确定,安全加高取0.5 m,如公路兼有堤防功能时,还应满足《防洪标准》(GB 50201-94)^[9]中有关防护对象的防洪标准的规定,按防洪标准较高者确定。波浪侵袭高度、风壅水高可按《堤防工程设计规范》(GB 50286-98)^[10]推荐的方法计算。

堤顶超高应按式(1)计算确定,1、2级堤防的堤顶超高值不应小于2.0 m。

$$Y=R+e+A \tag{1}$$

式中:Y为堤顶超高,m;R为设计波浪爬高,m;e为设计风壅水增高,m;A为安全加高值,按表1确定,m。

表1 堤防工程的级别、安全加高值

防洪标准(重现期) 年	≥100	<100, 且≥50	<50, 且≥30	<30, 且≥20	<20, 且≥10
堤防工程级别	1	2	3	4	5
不允许越浪的安全 加高值/m	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5

因受筑堤土源及场地的限制,可在路堤临水面侧路肩修建稳定、坚固的防浪墙。防浪墙顶高程应与上述方法计算相同,但路堤顶高程应高出设计静水位0.5 m以上。

在库区路线设计时要调查了解水库修建计划及有关资料,避免公路建成后不久即被水库淹没。对于一些地方性的小型水库,应注意水库淤积后,往往采用增加坝高措施,以提高库容量,或因为农田灌溉需要,提高水库等级,加高堤坝。故对路基高度设计,应

尽可能留有余地。由于水库淤积会使水位抬高,库区路基设计标高也要作相应抬高^[11]。

1.2 路基横断面形式

1.2.1 新建库区路基断面形式

(1)在库区的缓坡地段修筑路基,可能采用的路堤形式^[11]如图1所示。外边坡按高路堤设计,成阶梯形,平台宽度不小于2 m,并在水下设置防冲、防浪设施。

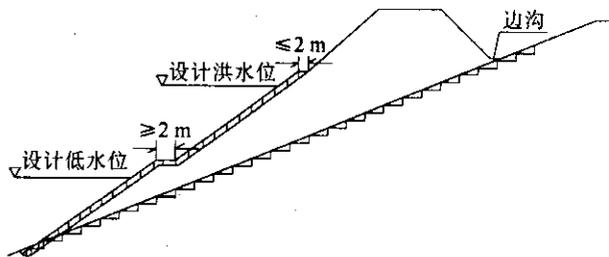


图1 缓坡地段水库路基横断面

(2)当库岸边坡较陡、堤顶与岸边河床之间高差较大时,如采用一般路基形式,则放坡太远,工程量太大,不经济。如风化岩层不厚,可选用挡墙路基,挡墙基础置于岸坡稳定的基岩上。图2为三峡丰都景区防护堤的某个挡墙式横断面图^[12]。

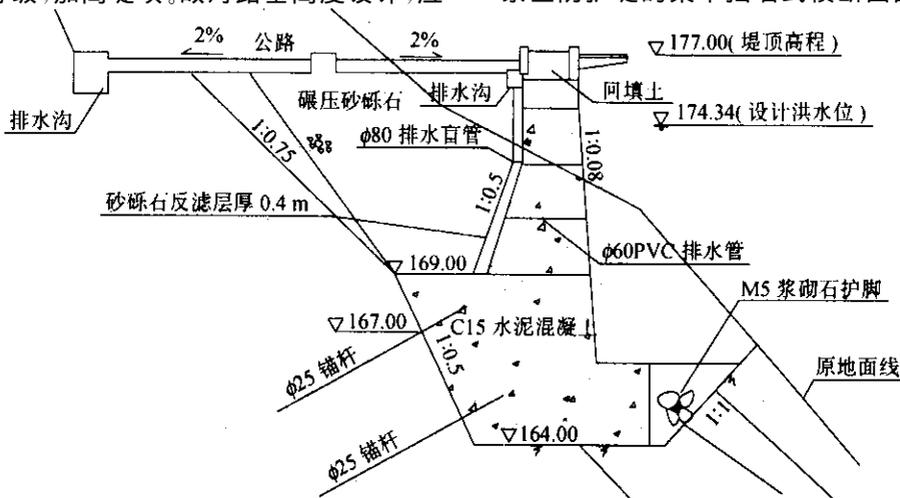


图2 陡坡地段挡墙式横断面

(3)在库岸滑坡变形体前缘修筑防护堤坝,既可起到压脚固坡、避免波浪对岸坡侵蚀的作用,还可填土造地、修建岸边道路。图3为三峡库区某段防护堤的设计断面^[12]。防护堤的堤身为碾压粘土岩,堤脚设有堆石排水体,堤内回填粘土岩,堤顶为四车道公路。防护堤对地基承载力要求较低,对地基沉陷适应性较强。图4为一种滑坡治理、塌岸防护与沿江公路建设一体化模式的路基横断面图,具有一定的参考

价值^[13]。

(4)跨越水库支沟、支流或库湾的浸水路基,其间适当的位置有过水建筑物,控制两侧水位差。库区浸水路基的典型断面如图5所示^[14,15],设计水位以下为填石路堤,以上为普通填土路堤,在土石交界面处增设反滤层。该断面不足之处是在实际运营过程中路面常出现反射裂缝。

若高速公路修建在河滩砂土段,可采用粘土作

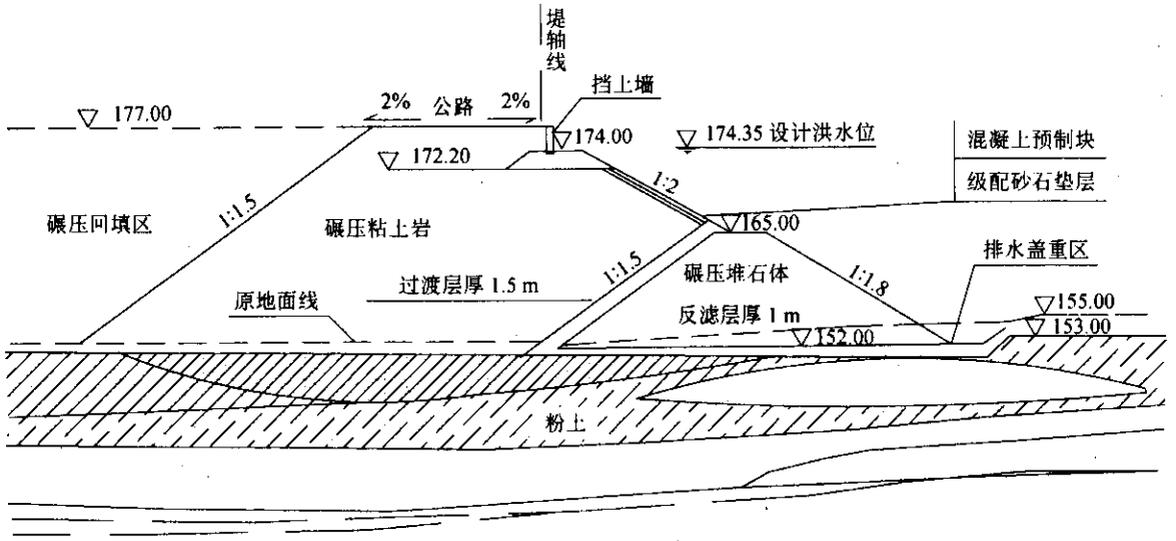


图3 碾压式土石路基横断面

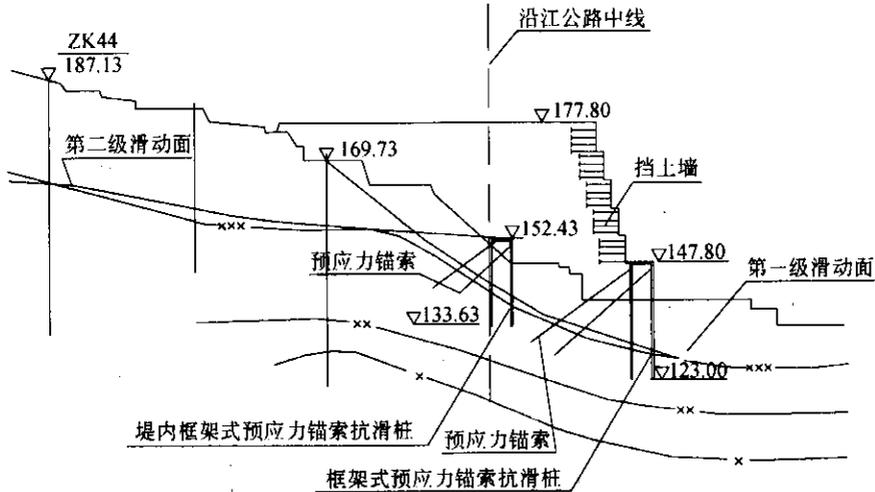
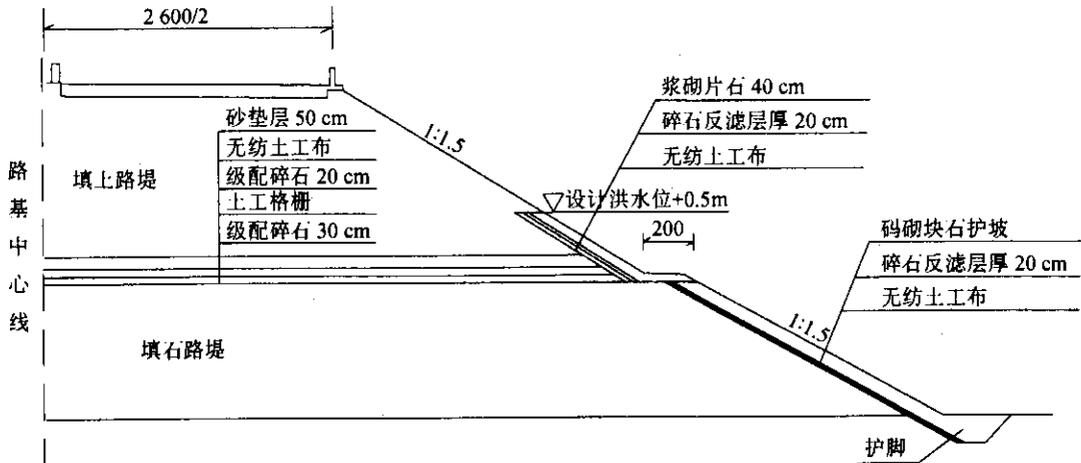


图4 滑坡治理综合利用横断面



单位:cm

图5 库区浸水路堤典型横断面

为包边,砂土作为路堤的填芯材料,充分利用两种土的优点,这样的路堤既稳定又经济,如图 6 所示^[16]。图 7 为潭邵高速公路横穿大塘水库时采用的加筋挡土墙路基形式^[17],可供借鉴。

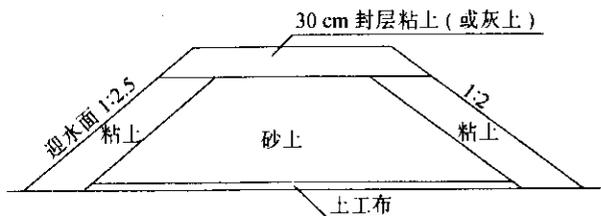
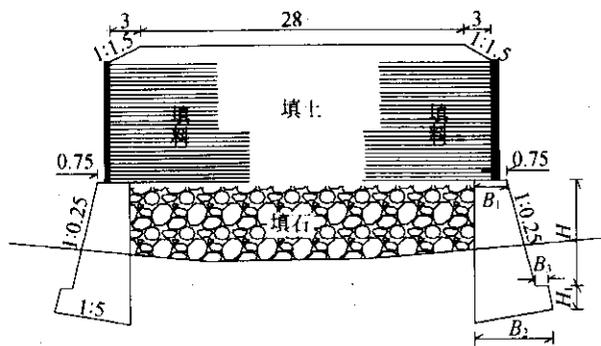


图 6 粘土包砂土路堤横断面



单位:m

图 7 加筋挡土墙横断面

1.2.2 库区路基改造的断面形式

(1)原填石路堤高度不够,可采用填石边坡,须另加边坡防护,并于设计低水位以下增设抛石护脚或铁丝笼护脚^[11],如图 8 所示。

(2)原土质路堤高度不够时,在设计洪水水位以下,可采用渗水性填料;在设计洪水水位以上,可用粘

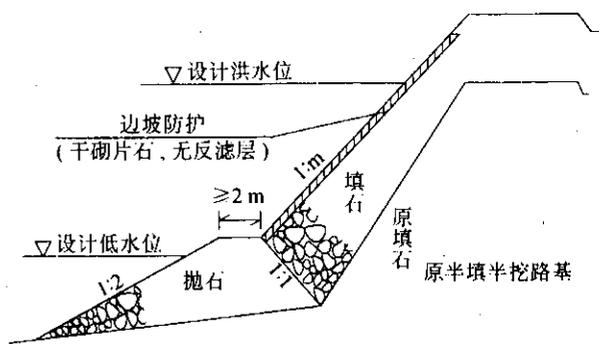


图 8 原填石路堤加高加固

性土填筑^[11]。边坡应加以防护,如图 9 所示。

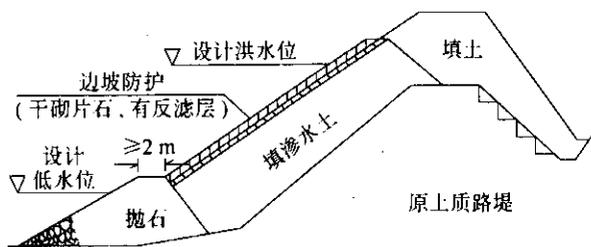
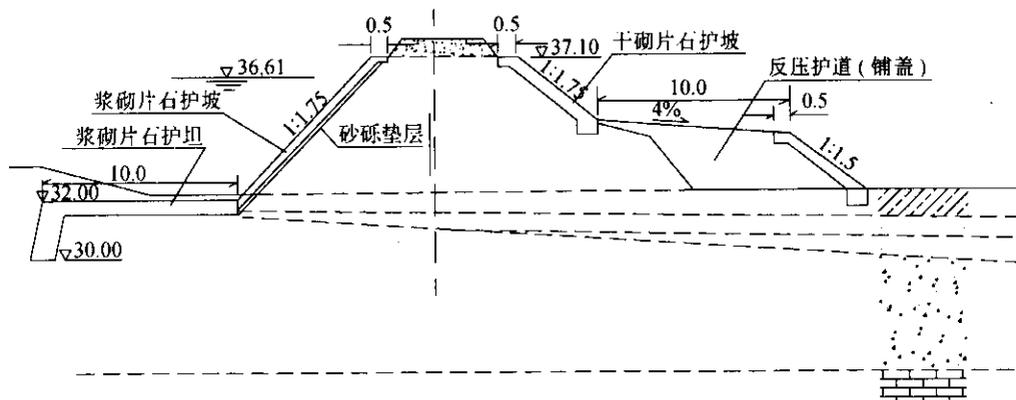


图 9 原土质路堤加高加固

(3)库水上升使老路堤成为“防洪堤坝”或“挡水坝”后,除应加固护坡、护脚外,还应消除堤身、地基沉落,以及边坡滑坍、路堤整体失稳等病害。如图 10 所示^[4],为了防止堤身、堤基出现渗透稳定问题,可在迎水侧基底设置灌浆帷幕,或防渗齿墙,同坡面浆砌片石综合防护,截断渗透水流,减小地下水渗透压力;背水侧设置反压护道(铺盖、盖重),即抵消强大的渗透压力,确保下游渗流逸出处稳定。



单位:m

图 10 采用“减压”和“反压”的整治措施

1.3 边坡坡率与填料选择

1.3.1 路基边坡坡率

库区路堤应按浸水路基的要求设计,当边坡高

度较大时,宜采用台阶形断面。不受库水影响的填土部分,其坡度与一般路堤边坡相同。在设计水位以下的边坡坡率不宜陡于 1 : 1.75;当路堤边坡较高时,

边坡坡度应经稳定性验算确定^[1]。

路堤稳定性分析应考虑上下游水头差在堤内产生的稳定渗流及水位骤然下降在堤内产生的不稳定渗流对路堤边坡产生的渗流压力和冲蚀作用,土质路堤应按路堤内渗流的最不利情况进行检算,必要时应进行流网计算^[1]。

稳定性验算应考虑库水浸泡后路基土抗剪强度降低的影响,土的强度参数按地下水位高度(浸润曲线以上加地下水壅升高度)以上和以下分别采用夯后快剪和夯后饱和快剪试验值。也应考虑库水的浮托力影响,物理参数按地下水位以上和以下分别取值。

在封冰和流冰地区,应考虑冰荷载作用。在水库的上游地段,若流速较大,还需考虑水流的冲刷作用。在淤积快的水库区,由于蓄水初期为危险期,这时没有淤积物或淤积物很少,验算路堤稳定性时,不考虑将来淤积后增加的路堤抗滑能力。

路基抗滑稳定计算可采用瑞典圆弧滑动法。当地基存在较软弱土层时,宜采用改良圆弧法^[10]。

1.3.2 填料的选择

路堤在渗透压力作用下,一方面降低了路堤边坡的稳定性,同时还可能产生管涌和流土现象,不利于路堤的稳定。因此,应采用级配良好的渗水性土作为填料,并严格控制路堤填筑的压实度^[1]。

当渗水性材料较为缺乏时,路堤受库水位浸泡的部位宜用渗水性材料填筑,库水位以上的部位可用细粒土填筑。对于用细粒土填筑的路堤,当渗透速度和渗透压力较大而可能发生冲蚀时,除放缓边坡外,宜在低水位一侧设置排水设施,设置较厚的反滤层及基底的护底等^[1]。

浸水路基填料,一般优先选用压缩变形小、水稳性好、渗透性强的粗颗粒材料,如砾石、卵石、漂石、不易风化的碎石和块石,以及粗砂和中砂等,以减小渗透压力的作用。一般粘性土亦可用作填料,但施工中应严格控制填土在最佳含水量时达到的压实度。一般粘性土的含砂量以50%~75%为佳。

重粘土、易崩解岩土、易湿陷土、粉质土及其他不宜用作填筑一般路堤的填料,均不宜用作水库浸水路基的填料。当采用细砂、粉砂作填料时,应考虑振动液化的影响^[18]。

需要注意的是,当路堤两侧水位差较大时,宜参照《堤防工程设计规范》(GB 50286—98)^[10]进行筑堤材料选择,进行防渗稳定设计。匀质土堤宜选用粘性土,粘粒含量宜为15%~30%,塑性指数宜为10~

20。石料、砂砾料等其他筑堤材料,防渗体、排水体、反滤层等材料均应满足有关规定。

2 水库路基防渗透与排渗设计

2.1 防渗与排渗设计原则

水库水位下降幅度和时间的变化较为复杂,一般认为当土体的渗透系数 $K > 0.001 \text{ cm/s}$ 、水位消落速度小于 1 m/d 时为缓降,而大于 3 m/d 时为骤降。当水库水位骤然下降时,路堤内侧的水向库区渗流,对水库侧的边坡产生渗透压力和冲蚀作用;当水位上升时,库区的水向路堤渗流,对外侧边坡产生渗透压力和冲蚀作用^[18]。

路堤内的渗透变形主要为管涌和流土。当路堤上下部位采用不同填料时,可能产生接触流土和接触冲刷^[19]。对水库路基,应从土的不均匀系数、颗粒直径、密实度、渗透系数、渗透速度及渗透压力等因素分析其渗透破坏作用。路堤一般尽可能选取均质断面,只有当筑堤土料渗透性较强,不能满足渗流稳定时,才考虑设置防渗或排水设施。

水库路基本体和地基两者的防渗与排渗设施应统筹布置,并使两者紧密结合,控制通过路基和地基的渗流,以防止土体因渗流作用发生危险的冲蚀、滑坡等破坏^[10]。渗流控制的基本方法是防渗与排渗,并在渗流出口等部位设置滤层保护。防渗措施总是靠近临水侧或路基中部,在消减大部分渗流能量后,再让渗水从下游或背水侧排渗出口流出。对于水库路基来说,应以防渗为主、排渗为辅,特别是水资源宝贵的工程,应尽量采用阻水作用较大的垂直防渗措施。对于沿河路基来说,为了防止影响低水位时两岸地下水的消退,最好在背水侧采用以排渗措施为主的方法^[19]。

2.2 路基本体的防渗排水

2.2.1 路基防渗

路基防渗可采用临水侧的斜墙、路基内部的心墙等形式。防渗体的材料应是透水性很小的,主要防渗材料可采用就地取材的粘土以及水泥混凝土、钢筋混凝土或沥青混凝土面板、土工膜等材料。

路基防渗体顶部应高出设计水位 0.5 m 。土质防渗体的断面,应自上而下逐渐加厚,顶部最小水平宽度不宜小于 1 m ,底部厚度不宜小于堤前设计水深的 $1/4$ 。土质防渗体的顶部和斜墙的临水面侧应设置保护层,保护层的厚度不应小于当地冻结深度。沥青混凝土或水泥混凝土防渗体和填筑体之间,应设

置垫层或过渡层。土工膜与土工织物的性能应满足强度、渗透性和抗老化等要求,表面应加以防护,防止机械和生物破坏。

2.2.2 路基排水

路基排水有路基内稍倾斜的直立式排水、背水坡脚处的贴坡滤层、路基内的褥垫层、伸入背水坡脚的排水棱体等。排水体材料是强透水的,主要是就地取材的砂、砾料,其入渗侧还应符合滤层设计标准。砂、砾石排水体的厚度或顶宽不宜小于1 m。滤层材料还可采用土工织物等材料。

2.3 地基的防渗排水

2.3.1 地基防渗

浅层透水地基宜采用粘性土截水槽或其他垂直防渗措施截渗。截水槽底部应达到相对不透水层,截水槽宜采用与路基防渗体相同的土料填筑,其压实密度不应小于堤体的同类土料。截水槽的底宽,应根据回填土料、下卧的相对不透水层的允许渗透坡降及施工条件确定。

相对不透水层埋藏较深、透水层较厚且临水侧有稳定滩地的地基,宜采用铺盖防渗措施。铺盖的长度和断面应通过计算确定。计算时,应计算下卧层及铺盖本身的渗透稳定。可充分利用天然弱透水层作为防渗铺盖,在防渗性能(厚度、级配、渗透系数等)不足的部位,应采用人工铺盖补强。在缺乏铺盖土料的地方,可采用土工膜或复合土工膜,在表面应设保护层及排气排水系统。

深厚透水地基上的重要堤段,可设置粘土、固化灰浆、水泥混凝土、塑性混凝土、沥青混凝土等地下连续截渗墙。截渗墙的深度和厚度应满足地基和墙体材料允许的渗透坡降的要求。

砂砾石地基通过室内及现场试验确定可灌性后,可建造灌浆帷幕。岩石地基上设置防渗灌浆帷幕时,应按《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(DL/T 5148—2001)执行。

岩基上的路堤主要应防止岩石裂隙和沿岩石面渗水冲蚀强风化的岩石和路基,一般以表层处理为主。因岩溶等原因,渗水量过大,可能危及路基安全时,应该根据当地材料的情况,堵塞漏水通道,必要时可加设防渗铺盖。

2.3.2 地基排水

表层弱透水层较厚的地基,宜采用盖重措施处理。盖重宜采用透水材料,厚度根据盖重有无被顶托破坏来确定。

表层弱透水层较薄的地基,如下卧的透水层基本均匀,且厚度足够时,宜采用排水减压沟。排水减压沟可采用明沟。弱透水层下卧的透水层呈层状沉积,各向异性,且强透水层位于下部,或其间夹有粘土薄层和透镜体,宜采用排水减压井,应根据渗流控制要求和地层情况,结合施工等因素,合理确定井距和井深。

排水减压沟、排水减压井的平面位置宜靠近路基背水侧坡脚。设置减压沟、减压井后,应复核地基及渗流出口的渗透坡降。当超过了允许的渗透坡降时,应采用其他防渗或反滤措施。防渗、反滤材料可用天然材料或土工膜、土工织物等。

2.4 渗流及渗透稳定计算

渗流计算的任务是求得渗流场内水头、压力、坡降、渗流量等水力要素,进行渗透稳定分析,并应选择经济合理的防渗、排渗设计方案或加固补强方案。渗流计算方法可参见文献[19]。

路基渗流计算断面应具有代表性,验算内容包括以下几个方面。

(1)按临水侧为设计洪水位,背水侧为相应水位、低水位或无水等水位组合,计算在设计洪水位持续时间内浸润线的位置。当在背水侧堤坡逸出时,应计算出逸出点的位置、逸出段与背水侧地基表面的出逸比降,判断出逸出段的渗透稳定。当出逸比降大于允许比降时,应设置反滤层、压重等保护措施。

(2)当路基、地基土的渗透系数 $K \geq 0.001 \text{ cm/s}$ 时,应计算渗流量。

(3)应计算水位降落时临水侧路基内的自由水位,分析临水侧堤坡稳定的最不利情况。

3 结语

(1)对于水库路堤,除了应根据规范规定满足路堤构造要求外,还应结合现场地形、地貌、水文、地质情况合理确定路堤断面形式。沿河路堤位置及断面形式应充分考虑滑坡治理、填土造地、塌岸防护的要求。跨越水库支沟、支流或库湾的浸水路堤,两侧壅水位差较小时,可在常水位下采用透水材料,以利减小填料受水浸后强度下降和附加渗流的作用,提高路堤边坡稳定性。在不同填料之间应设置反滤层,防止产生接触流土和接触冲刷。

(2)当路堤两侧水位差较大时,宜参照《堤防工程设计规范》(GB 50286—98)进行筑堤材料选择,进行防渗稳定设计。路基本体和地基两者的防渗与排渗设施应统筹布置,并使两者紧密结合,控制通

过路基和地基的渗流,以防止土体因渗流作用发生危险的冲蚀、滑坡等破坏。一般水库路基以防渗为主、排渗为辅,沿河路基以排渗措施为主。研究表明,为了避免水库水位骤降导致路堤失稳和发生渗透变形,水库水位泄降速度不得大于6 m/d。

(3)当水库蓄水及运行过程中产生的库岸再造危及库区公路安全时,应对库岸或路基进行防护加固。路基或库岸防护设计应遵循滑坡与塌岸综合治理、库岸防治与开发利用相结合、分期分段分区防护等原则。应从库岸再造影响因素入手进行多因素治理设计,针对不同库岸地质结构及库岸再造类型采用砌石护坡、防护林带、格构锚固、挡土墙、抗滑桩、喷锚等防护措施^[20]。对“蓄清排混”,或不完全季调节的水库,还应注意兼顾水流冲刷防护与波浪侵袭防护。

参考文献:

- [1] JTG D30—2004,公路路基设计规范[S].
- [2] 黄谷丰.重视水位对路基稳定的影响[J].中国市政工程,2005,(4).
- [3] 储成伍.外福线K145~K172路堤渗透破坏成因及整治措施探讨[J].铁道建筑,1996,(10).
- [4] 周震明,邬良正,郭开勇.滨河路堤管涌整治[J].路基工程,2002,(2).
- [5] 张宗堂.陇海铁路路基受宝鸡峡加坝影响及加固措施初探[J].路基工程,2001,(4).
- [6] 林文腾.水口库区外福铁路滨江路基应按冲刷设置防护[J].铁道工程学报,2000,(4).
- [7] 宋官保,张学龙,黄继武.三峡库区地质地理条件下公路工程建设技术研究[J].交通科技,2005,(3).
- [8] 屈科,苟定才,黄润秋,等.渝怀铁路三峡水库库区段回水坍塌预测与处理原则[J].地球科学进展,2004,19(增刊).
- [9] GB 50201—94,防洪标准[S].
- [10] GB 50286—98,堤防工程设计规范[S].
- [11] 交通部第二勘察设计院.公路设计手册——路基(第二版)[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [12] 黄站峰,刘川顺,任翔.三峡库岸防护堤结构形式探讨[J].中国农村水利水电,2004,(9).
- [13] 陈洪凯,唐红梅.三峡库岸城区滑坡治理与沿江公路建设一体化模式——以重庆万州清泉路滑坡为例[J].山地学报,2003,21(6).
- [14] 吴超凡.高速公路浸水填石路堤设计与施工的探讨[J].公路,2003,(4).
- [15] 宋月琴,彭雾云.浸水路堤的设计[J].中南公路工程,1996,(2).
- [16] 康拥政,牛红凯,赵慧丽.浅析粘土包砂土河滩路堤施工[J].路基工程,2003,(1).
- [17] 李军生,曾宪营,张建成.大塘水库段路堤设计方案选择及实施[J].公路,2003,(1).
- [18] 池淑兰,孔书祥.路基工程[M].北京:中国铁道出版社,2002.
- [19] 毛昶熙.渗流计算分析与控制(第二版)[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [20] 简文星,殷坤龙,刘礼领,等.三峡库区三期塌岸防护规划典型设计[J].岩石力学与工程学报,2005,24(18).

Section Design and Seep Proof Design for Subgrade in Reservoir Area

HE Liang-de, ZONG Ze

(College of Traffic Engineering, Hohai University., Nanjing 210098, China)

Abstract: In the design of reservoir subgrade, some influences such as soakage, seepage, water-level fluctuation, wave attack, water erosion, reservoir bank ruin, reservoir siltation and wet subsidence caused by groundwater mound, should be taken into account. By the analysis of engineering cases, the causes of reservoir subgrade disease are summarized in this paper. On the basis of the principle of integrated harness and development, including backfill making fields, infiltration stabilization, landslide control, bank ruin prevention and so on, reservoir subgrade forms and structures in new building and rebuilding are explored. The seepage computation and control method of embankment and foundation are studied, the applicability and effectiveness of the various cross forms of embankment, the arrangement form of impervious element and the various kinds of embankment fillings under the conditions of different water-level lift are also thoroughly expounded.

Key words: subgrade in reservoir area; section form; seepage deformation; fillings selection; subgrade protection